

# LE SCOPERTE DI DOMENICO PACINI E VICTOR HESSE SUI RAGGI COSMICI

Caporaso Francesco<sup>1</sup>, Cotugno Luigi<sup>1</sup>, Solombrino Stefano<sup>1</sup>

1 4As Liceo Scientifico Linguistico Statale “V. Cuoco - T. Campanella”

## ABSTRACT

All'inizio del XX secolo, l'origine della radioattività naturale rappresentava un enigma per la comunità scientifica. Gli esperimenti di Domenico Pacini e Victor Hess portarono a una svolta fondamentale nella comprensione di questo fenomeno. Pacini condusse studi innovativi in ambienti acquatici, dimostrando che una parte della radiazione non aveva origine terrestre. Parallelamente, Hess effettuò misurazioni a diverse altitudini mediante palloni aerostatici, rilevando un aumento del tasso di ionizzazione con la quota e dimostrando così l'esistenza di una radiazione extraterrestre. Questo articolo ripercorre le loro ricerche, le metodologie adottate e i risultati ottenuti, evidenziando il loro impatto sulla fisica moderna.

## INTRODUZIONE

Un elettroscopio è uno strumento in grado di rilevare la presenza e la variazione di cariche elettriche. Si basa sul principio della repulsione tra cariche dello stesso segno: quando è carico, due lamine conduttrici si allontanano; se l'ambiente esterno ionizza l'aria (come avviene in presenza di radiazione), le cariche si dissipano e le lamine si riavvicinano. La velocità con cui ciò avviene indica l'intensità della radiazione ionizzante presente. All'inizio del Novecento, gli scienziati notarono che gli elettroscopi si scaricavano spontaneamente, indicando la presenza di una radiazione penetrante di origine sconosciuta. Le prime ipotesi attribuivano questa radiazione alla radioattività terrestre, derivante da elementi presenti nel suolo e nei materiali radioattivi atmosferici. Tuttavia, misurazioni successive rivelarono che l'intensità della radiazione non diminuiva allontanandosi dal suolo come previsto e non aumentava avvicinandosi al fondo di un bacino d'acqua.

Domenico Pacini e Victor Hess furono tra i primi scienziati a mettere in discussione questa teoria e a cercare risposte attraverso esperimenti innovativi in risposta a questi dubbi, realizzarono esperimenti innovativi con approcci diversi, ma complementari, che verranno descritti nelle prossime due sezioni.

## GLI ESPERIMENTI DI DOMENICO PACINI



**Fig.1** Il cacciatorpediniere Fulmine della Regia Marina durante la prima missione cui partecipò Pacini

Domenico Pacini, fisico italiano, per verificare l'origine della radiazione ionizzante che ci circonda, tra il 1907 e il 1911, eseguì misurazioni della velocità di scarica degli elettroscopi in diversi ambienti:

- *A bordo di una nave*: Pacini effettuò esperimenti presso l'Accademia Navale di Livorno, confrontando la radiazione rilevata sulla terraferma con quella misurata in mare aperto. Con questa misura, Pacini confrontò i valori della radiazione registrati sulla terraferma con quelli ottenuti in mare aperto. Dalla comparazione emerse che la radiazione misurata in mare era significativamente inferiore rispetto a quella a terra, evidenziando che una parte dell'intensità rilevata non poteva provenire dal suolo, ma doveva avere un'origine esterna.
- *In immersione*: Nel 1911, condusse esperimenti nel lago di Bracciano e nel porto di Livorno, immergendo un elettroscopo sigillato a diversi metri di profondità.

Osservò una netta diminuzione del tasso di ionizzazione sott'acqua, dimostrando che una parte della radiazione non proveniva dal suolo ma aveva un'origine esterna all'ambiente terrestre.

I risultati ottenuti da Pacini furono fondamentali per confutare la teoria secondo cui la radiazione penetrante derivava unicamente dalla radioattività terrestre.

## GLI ESPERIMENTI DI VICTOR HESS



**Fig.2** Victor Hesse che si prepara a compiere l'esperimento

Nel 1912, Victor Hess condusse una serie di voli in pallone aerostatico per misurare la radiazione atmosferica a diverse altitudini. Utilizzò elettroscopi sigillati per evitare che le condizioni atmosferiche, come l'umidità o il vento, influenzassero i risultati delle misurazioni e registrò le variazioni del tasso di ionizzazione tra 1000 e 5000 metri di quota.

Hess osservò che, contrariamente alle aspettative, la radiazione non diminuiva con l'altitudine, ma aumentava a partire da circa 1500 metri. Questo risultato, come quello di Pacini, indicava che la fonte della radiazione non era solo terrestre, bensì proveniva dall'esterno dell'atmosfera terrestre, suggerendo un'origine cosmica.

Le scoperte di Hess furono cruciali per la conferma dell'esistenza dei raggi cosmici e gli valsero il Premio Nobel per la Fisica nel 1936.

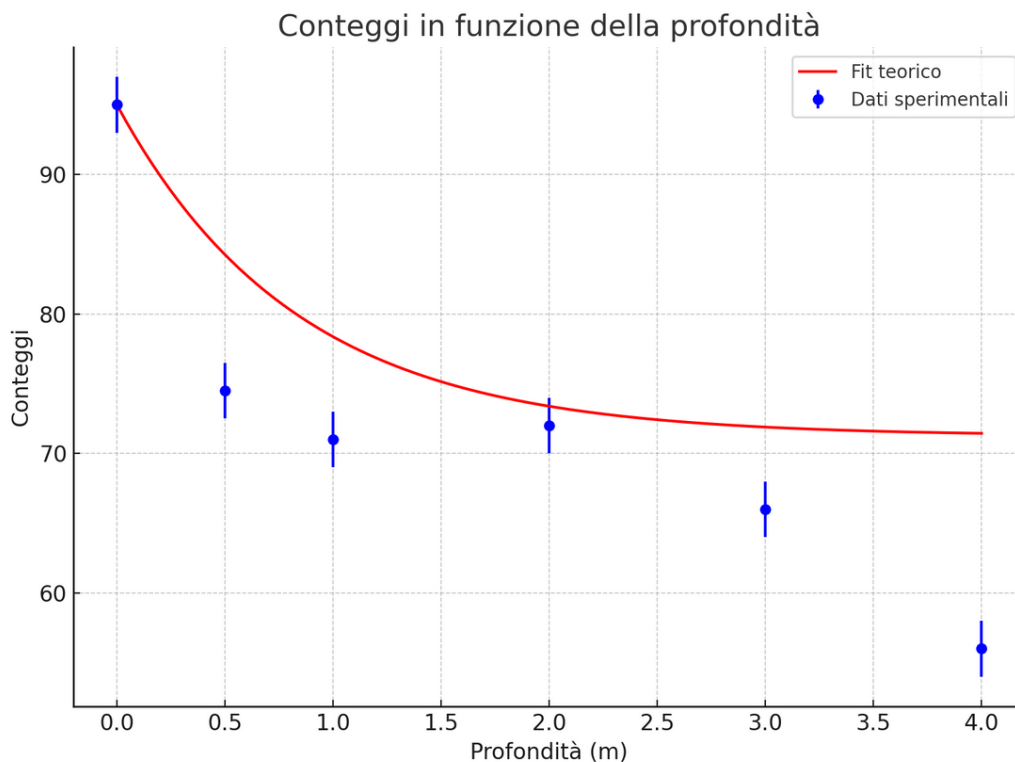
## RISULTATI

Per approfondire il contributo sperimentale di Domenico Pacini, abbiamo analizzato i dati raccolti in un'attività didattica ispirata ai suoi esperimenti, condotta da studenti del Liceo Scientifico di Livorno sempre nell'ambito di una attività OCRA[2]. In questa attività, è stato utilizzato un rivelatore di particelle (scintillatore) posizionato a diverse profondità in acqua, registrando i conteggi di particelle ionizzanti per ciascuna profondità.

I dati raccolti sono riportati nella seguente tabella:

Profondità (m)	Conteggi
0	95
0,5	74,5
1	71
2	72
3	66
4	56

**Fig.3** risultati dell'esperimento di Pacini condotto dagli studenti di Livorno



**Fig.4** grafico dei valori sperimentali della funzione teorica di attenuazione esponenziale

Questi valori sono stati rappresentati graficamente e confrontati con la funzione teorica di attenuazione

$$R/R_0 = 1 - f(1 - \exp(-d/H))$$

$$H = 83 \text{ cm} = 0.83 \text{ m}$$

$$f = 0.25$$

dove:

- R rappresenta il conteggio rilevato a una profondità d;
- $R_0$  è il conteggio a profondità zero (valore di riferimento);
- f è il fattore di attenuazione, che indica la frazione dell'effetto dell'attenuazione;
- H è la profondità caratteristica, ossia la scala su cui l'effetto dell'assorbimento diventa significativo.

Dal grafico ottenuto si osserva una diminuzione dell'intensità della radiazione con l'aumentare della profondità, coerente con l'attenuazione prevista teoricamente. La curva teorica mostra una buona corrispondenza con i dati sperimentali, confermando l'andamento esponenziale dell'attenuazione della radiazione in acqua. Gli errori sui conteggi sono stati calcolati utilizzando la statistica di Poisson, fondamentale per il conteggio di eventi casuali.

Infatti, se N è il numero di conteggi, l'errore associato è:  $\Delta N = \sqrt{N}$

Ad esempio, registrando 95 conteggi, l'errore teorico risulta essere approssimativamente 9,7. Questi valori indicano la naturale variabilità dei dati. Tuttavia, nel grafico abbiamo utilizzato barre di errore semplificate per rendere più chiara la visualizzazione dell'andamento dei dati.

Questo tipo di analisi permette di comprendere, con strumenti semplici, il fenomeno studiato da Pacini, utilizzando un approccio scientifico moderno.

## CONCLUSIONI E OSSERVAZIONI FINALI

Gli esperimenti di Pacini e Hess segnarono una svolta nella comprensione della radiazione ionizzante di origine extraterrestre.

Sebbene Pacini avesse fornito prove cruciali sull'esistenza di una componente non terrestre della radiazione, i suoi lavori ricevettero inizialmente poca attenzione.

Hess, con le sue misurazioni in quota, fornì la conferma definitiva dell'origine cosmica di questa radiazione, ricevendo un ampio riconoscimento dalla comunità scientifica.

Oggi, la fisica dei raggi cosmici è un campo di ricerca fondamentale per l'astrofisica e la fisica delle particelle, con esperimenti condotti in osservatori come il Pierre Auger Observatory e il telescopio spaziale AMS-02. Il lavoro pionieristico di Pacini e Hess continua a ispirare nuove ricerche sull'origine e la natura delle particelle cosmiche ad alta energia.

## Bibliografia

[1] OCRA - La conferma di Hess. ([web.infn.it](http://web.infn.it))

[2] OCRA - Misura dei muoni in funzione della profondità in acqua. ([web.infn.it](http://web.infn.it))

[3] Scienza Per Tutti - La conferma di Hess. ([scienzapertutti.infn.it](http://scienzapertutti.infn.it))

[4] LNGS - Raggi cosmici. ([lngs.infn.it](http://lngs.infn.it))